

Определение удельного заряда электрона

Объекты эксперимента

Исследование отклонения электронов в магнитном поле на круглую орбиту.

Определение магнитного поля B как функция ускоряющего потенциала U электронов в постоянном радиусе r .

Определение удельного заряда электрона.

Основные принципы

Масса электрона трудно определяется экспериментально. Проще определить удельный заряд электрона

$$\varepsilon = \frac{e}{m_e} \quad (I),$$

и с помощью формулы (1) можно вычислить массу электрона m_e , если известно элементарный заряд

Электрон, перемещающийся со скоростью v перпендикулярно к однородному магнитному полю B , подвергается силе Лоренца

$$F = e \cdot v \cdot B \quad (II)$$

который перпендикулярен скорости и магнитному полю. Центробежная сила

$$F = m_e \cdot \frac{v^2}{r} \quad (III)$$

действует на электрон на орбите с радиусом r (Рис. 1), и

$$\frac{e}{m_e} = \frac{v}{r \cdot B} \quad (IV)$$

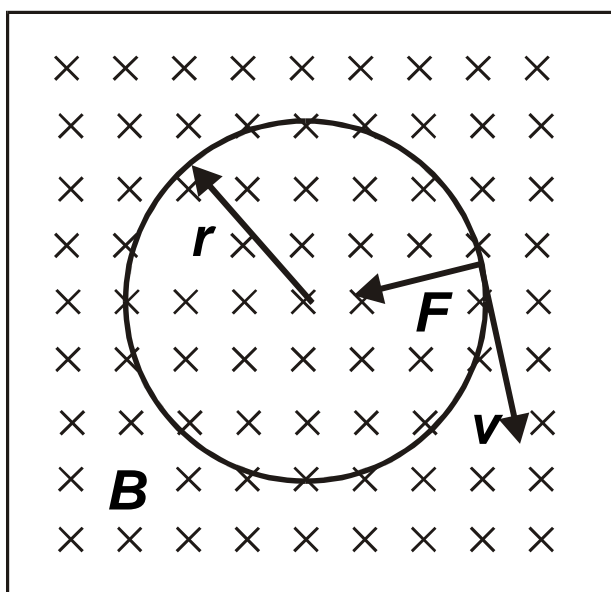
В эксперименте электроны ускоряются в электронно-лучевой трубке потенциалом U . Получаемая кинетическая энергия

$$e \cdot U = \frac{m_e}{2} \cdot v^2 \quad (V)$$

Удельный заряд электрона, таким образом

$$\frac{e}{m_e} = \frac{2 \cdot U}{(r \cdot B)^2} \quad (VI).$$

Рис. 1: Отклонение электронов в магнитном поле B силой Лоренца F на круглую орбиту с радиусом r



Apparatus

1 электронно-лучевая трубка	555 571
1 Катушки Гельмгольца с держателем и измерительными приборами	555 581
1 Источник питания трубки 0 до 500 V.....	521 65
1 DC Источник питания 0...16 V, 0...5 A.....	521 545
2 Мультиметр LD analog 20.....	531 120
1 Измерительная рулетка, l = 2 m/78"	311 77
3 Безопасные соедин. провода, 25 см.....	500 614
3 Безопасные соедин. провода, 50 см.....	500 624
7 Безопасные соедин. провода, 100 см.....	500 644

Дополнительно рекомендуется:

1 Универсал/ измерительный прибор "Physics" ..	531 835
1 Axial B-Sensor S.....	524 0382
1 Расширительный кабель, 15-полюсный.....	501 11

Электронно-лучевая трубка содержит водородные молекулы при низком давлении, которые при столкновении с электронами излучают свет. Это делает орбиту электронов косвенно видимой, и их орбитальный радиус r может быть непосредственно измерен с линейкой.

Магнитное поле B генерируется в паре катушек Гельмгольца и пропорционально току I в катушках Гельмгольца:

$$B = k \cdot I \quad (\text{VII})$$

Зависимость ускоряющего потенциала U от тока I в магнитном поле, в котором орбитальный радиус электронов сведен к постоянному значению r , следует после перестановки уравнений (VI) и (VII)

$$U = \frac{e}{m_e} \cdot \frac{1}{2} \cdot r^2 \cdot k^2 \cdot I^2 \quad (\text{VIII})$$

коэффициент пропорциональности

$$k = \mu_0 \cdot \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{n}{R} \quad (\text{IX})$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} : \text{магнитная постоянная}$$

может быть вычислен или от радиуса катушки $R = 150$ мм и фактора $n = 130$ за катушку, или определен путем измерения калибровочной кривой $B = f(I)$. Все определяющие факторы для удельного заряда электрона теперь известны.

Техника безопасности

Внимание: электронно - лучевая трубка требует высоких напряжений контакта до 300 В для ускорения электронов. Другие напряжения, связанные с этим опасным напряжением контакта также, представляют опасность. Опасные напряжения контакта таким образом присутствуют на панели связи держателя и в катушках Гельмгольца, когда электронно - лучевая трубка в действии.

■ Соедините панель только с помощью безопасных соединительных проводов.

Всегда обязательно выключите все электроснабжение прежде, чем соединить и изменить установки эксперимента.

■ Не включайте электроснабжение, пока Вы не закончите сборку схемы.

■ Не касайтесь установки эксперимента, особенно катушки Гельмгольца, во время работы.

Опасность взрыва: электронно-лучевая трубка является вакуумированным стеклянным сосудом с тонкими стенами.

■ Не подвергайте электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) механическим усилиям

■ Управляйте ЭЛТ только в держателе (555 581).

■ Соедините 6-полюсный штепсель держателя тщательно к стеклянной основе.

■ Прочитайте лист инструкции, поставляемый ЭЛТ.

Установка**Примечание:**

Выполните измерения в темной камере.

Катушки Гельмгольца могут быть соединены с током больше чем 2 А, только в течение короткого времени.

Экспериментальная установка для определения удельного заряда электрона показана на Рис. 2, электрические схемы на Рис. 3.

- Разъедините электроснабжение трубки и поверните все ручки потенциометра к левой позиции.

-Соедините 6,3-вольтный входной конец электронно-лучевой трубки к 6,3-вольтный выход источника электрической энергии трубки.

-Закоротите положительный полюс 50-вольтного выхода источника питания трубки с отрицательным полюсом 500-вольтного выхода и соединяется с гнездом «-» электронно-лучевой трубки (катод).

- Соедините гнездо «+» электронно-лучевой трубки (анод) с положительным полюсом 500-вольтного выхода, гнездо W (Wehnelt-цилиндр) с отрицательным полюсом 50-вольтного выхода.

-Для измерения ускоряющего потенциала U соединяйте вольтметр (измеряющий диапазон 300 В) к 500-вольтному выходу.

- Закоротите пластины отклонения электронно-лучевой трубки к анод.

- Соедините DC источник питания постоянного тока и амперметр (диапазон измерения 3 А) последовательно с катушками Гельмгольца.

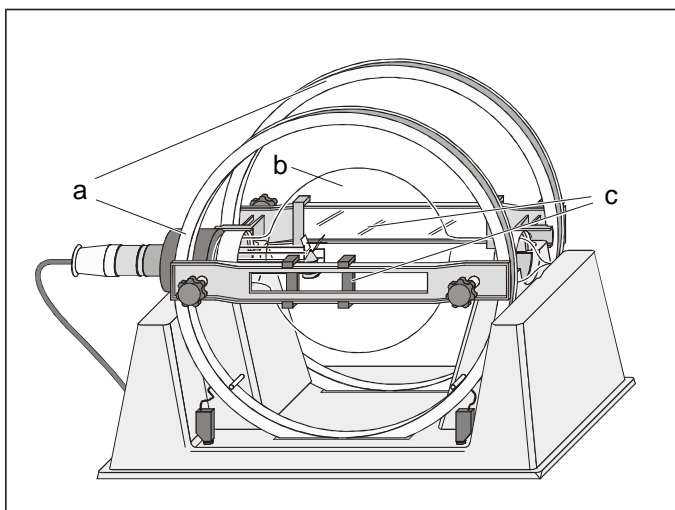
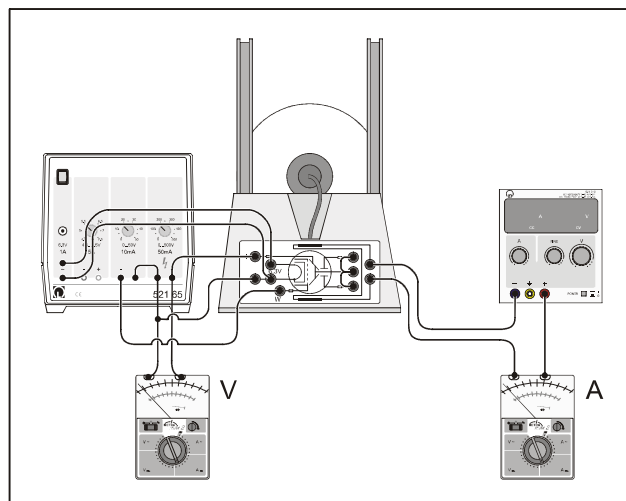


Рис.2 .Экспериментальная установка для определения удельного заряда электрона

- a катушки Гельмгольца
- b электронно-лучевая трубка
- c Измерительный прибор

Рис. 3. Электрическое соединение



Выполнение эксперимента

- Переместите левый слайд измерительного прибора так, чтобы его внутреннее край, зеркальное отображение и апертюра электронного луча прибывали для наложения на одном углу.
- Установите правый слайд для обоих внутренних краев для получения расстояния 8 см.
- Наблюдайте внутренний край правого слайда, выровняйте его зеркальное отображение и корректируйте обмоточный ток I, пока электронный луч не бежит мимоходом вдоль края понижения, покрывающего зеркальное отображение (см. Рис. 4)
- Уменьшите ускоряющий потенциал U на шагах 10 В к 200 В и выбирайте обмоточный ток I так, чтобы орбита электронного луча имела диаметр 8 см.
- Измерьте ускоряющий потенциал U и обмоточный ток I.

- Включите электроснабжение трубки и установите ускоряющий потенциал $U = 300$ В

Термоэлектронная эмиссия запускается после нагревания в течение нескольких минут.

- Оптимизируйте фокусировку электронного луча путем варьирования напряжение в Wehnelt-цилиндре от 0... 10 В, пока это не приводит к узкому, хорошо определенному лучу с ясным определением края.

- Соедините источник питания постоянного тока катушек Гельмгольца и наблюдайте ток I, в котором электронный луч отклонен по закрытой орбите.

Если электронный луч после отрыва от анода отклонен по неправильной (левой) линии:

- разъедините оба источника питания.
- поменяйте контакты на источнике питания постоянного тока для изменения полярности магнитного поля.

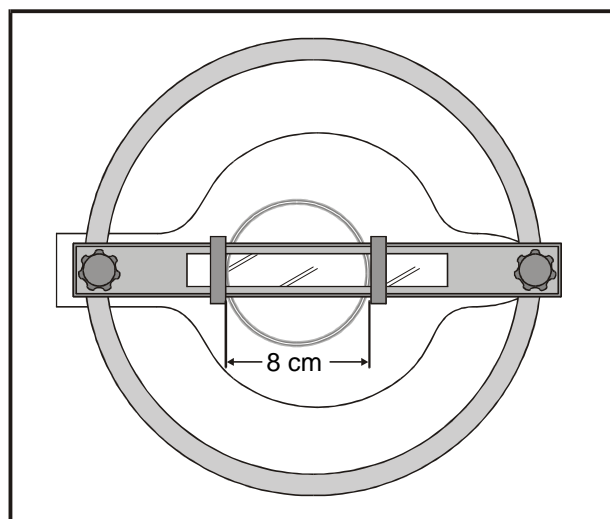
Если электроны не двигаются по закрытой круглой орбите, но по спиральной линии:

- Ослабьте монтирующиеся болты обоих держащих кронштейнов (прочитайте информационное руководство для электронно-лучевой трубки).

- Внимательно поверните 'электронно-лучевую трубку вокруг ее продольной оси, пока электронный луч не будет появляться на закрытой круглой орбите.

- Закрепите монтирующиеся болты.

Рис. 4. Измерение диаметра орбиты с измерительным прибором



Калибровка магнитного поля Гельмгольца:

Установка для калибровки магнитного поля показана на Рис. 5. Дополнительно рекомендуемые устройства, упомянутые выше, требуются для того, чтобы сделать измерения.

- Если применимо разъедините все блоки питания.
- Демонтируйте измерительный прибор и катушку Гельмгольца в передней стороне, ослабьте связь с электронно-лучевой трубкой и монтирующиеся болты двух держащихся кронштейнов (прочитайте инструкции для электронно-лучевой трубки)
- Внимательно удалите электронно-лучевую трубку и поместите ее, например, в первоначальное место.
- Повторно соберите катушки Гельмгольца в передней стороне и соедините.
- Соедините осевой В-зонд с Тесламетром (диапазон измерения 20 мТ), и калибруйте нулевую точку (см. Инструкцию по эксплуатации для Тесламетра).
- Переместите осевой В-зонд, параллельно магнитному полю катушки Гельмгольца в центр пары катушек.
- Повысьте ток I катушки с 0 до 3 А на шагах 0,5 А, измерьте магнитное поле B и запишите измеренные значения.

После заключения калибровки:

- Повторно соберите электронно-лучевую трубку согласно инструкции.

Примеры измерения

Таблица 1: Ток I катушки как функция ускоряющего потенциала U при постоянном радиусе орбиты $r = 0,04$ м.

$\frac{U}{V}$	$\frac{I}{A}$
300	2.15
290	2.10
280	2.07
270	2.03
260	2.00
250	1.97
240	1.91
230	1.88
220	1.83
210	1.79
200	1.75

Таблица 2: Магнитное поле B катушек Гельмгольца как функция тока I катушки (это измерение требует вышеупомянутых дополнительных рекомендуемых устройств),

$\frac{I}{A}$	$\frac{B}{mT}$
0.5	0.35
1.0	0.65
1.5	0.98
2.0	1.34
2.5	1.62
3.0	2.05

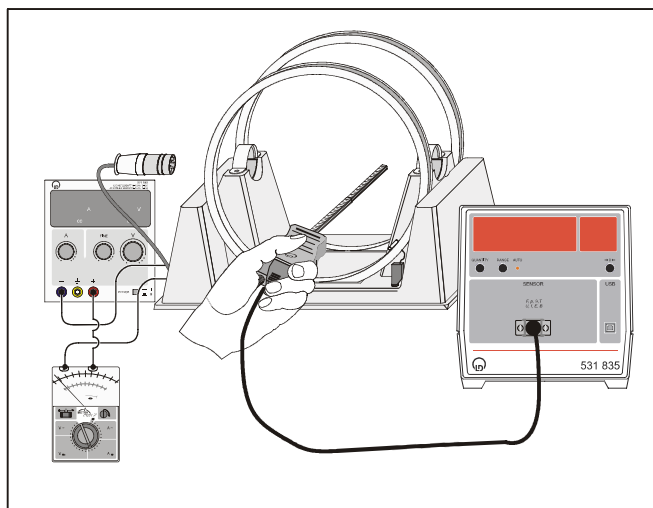


Рис. 5 Установка для калибровки магнитного поля Гельмгольца

Оценка и результаты

На Рис. 6 измеренные значения от таблицы 1 показаны в их линейной форме $U = f(I^2)$, - согласно (VIII). Наклон получающейся линии через начало координат $\alpha = 65,3 \text{ V A}^{-2}$.

Согласно уравнению (VIII), удельный заряд электрона

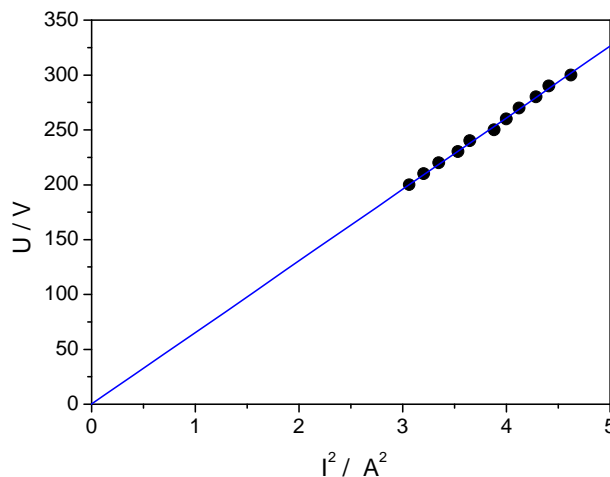
$$\frac{e}{m_e} = \frac{2 \cdot \alpha}{r^2 \cdot k^2}$$

Дальнейшая оценка таким образом требует коэффициента пропорциональности k.

Если пучки света падают перпендикулярно ($\alpha = \beta$), они отражаются назад по пути падения

Если пучки света падают косо, они отражаются в другие направления, но остаются параллельными.

Рис. 6. Представление измеренных результатов из Таблицы 1.



Определение коэффициента пропорциональности k от калибровки магнитного поля Гельмгольца:

Проведение прямой линии через начало координат по измеренным значениям из таблицы 2, или из Рис. 7 приводит $k = 0,67 \text{ mT A}^{-1}$

и далее

$$\frac{e}{m_e} = 1,8 \cdot 10^{11} \frac{\text{As}}{\text{kg}}$$

Вычисление коэффициента пропорциональности k :

Используя (IX) можно вычислить

$$k = 0,78 \text{ mT A}^{-1}$$

и далее

$$\frac{e}{m_e} = 1,3 \cdot 10^{11} \frac{\text{As}}{\text{kg}}$$

Литературное значение:

$$\frac{e}{m_e} = 1,76 \cdot 10^{11} \frac{\text{As}}{\text{kg}}$$

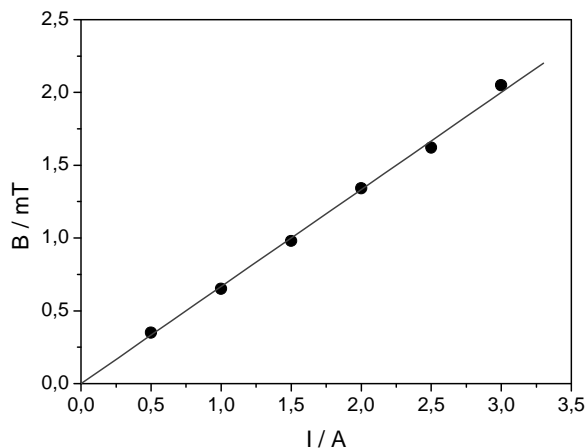


Рис. 7. Калибровочная кривая для магнитного поля катушек Гельмгольца

